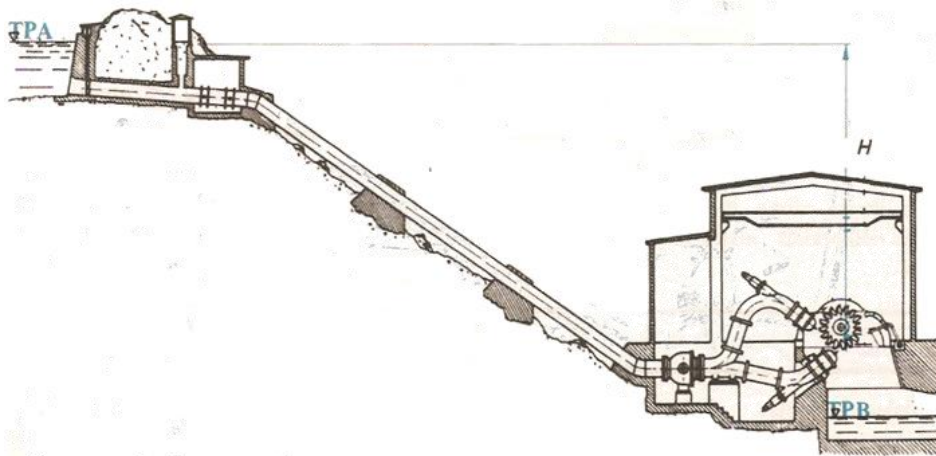


BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Teori Dasar Aliran

Teori dasar aliran atau hidrodinamik, air yang mengalir mempunyai energi yang dapat digunakan untuk memutar roda turbin, karena itu pusat-pusat tenaga air dibangun di sungai-sungai dan di pegunungan-pegunungan. Pusat tenaga air tersebut dapat dibedakan dalam dua golongan, yaitu pusat tenaga air tekanan tinggi dan pusat tenaga air tekanan rendah (Dietzel, 1980).



Gambar 2.1 Pusat Tenaga Air Tekanan Tinggi di Pegunungan
(Sumber : Dietzel, 1980)

Pada gambar 2.1 menunjukkan bahwa pusat tenaga air tekanan tinggi. Melalui gambar 2.1 dapat diketahui bahwa dengan didirikannya bendungan di daerah yang tinggi terdapat sebuah *reservoir* (tempat) air yang cukup besar. Dengan menggunakan pipa, air dialirkan ke rumah pusat tenaga yang dibangun di bagian bawah bendungan. Adapun di dalam rumah tersebut telah dipasang nozel, sehingga air dapat menyembrot keluar dan memutar roda turbin, kemudian air dibuang

kesungai. Dari tinggi permukaan air atas (TPA) dan tinggi permukaan air bawah (TPB) terdapat tinggi air jatuh yang disebut *head* (H) (Dietzel, 1980).

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

a. Arti PLTMH

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) adalah alat yang menghasilkan listrik dengan menggunakan sumber tenaga air. Mikro menunjukkan ukuran kapasitas pembangkit, yaitu antara 5 kW sampai dengan 100 kW (Wibowo, 2005).

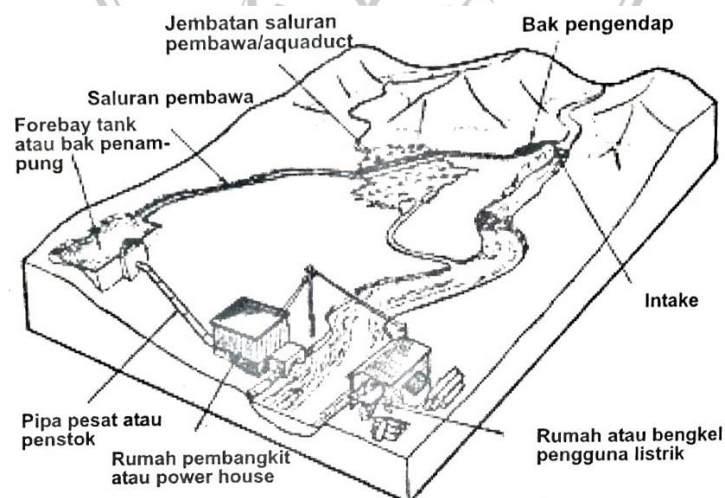
Pengembangan PLTMH dapat dilakukan 2 pola, yaitu :

1. Pola *off-grid*

Pola *off-grid* adalah dilakukan di desa-desa yang belum terjangkau jaringan listrik PLN (Perusahaan Listrik Negara).

2. Pola *on-grid*

Pola *on-grid* adalah dilakukan di desa-desa atau daerah-daerah yang sudah terjangkau oleh jaringan PLN (Perusahaan Listrik Negara).

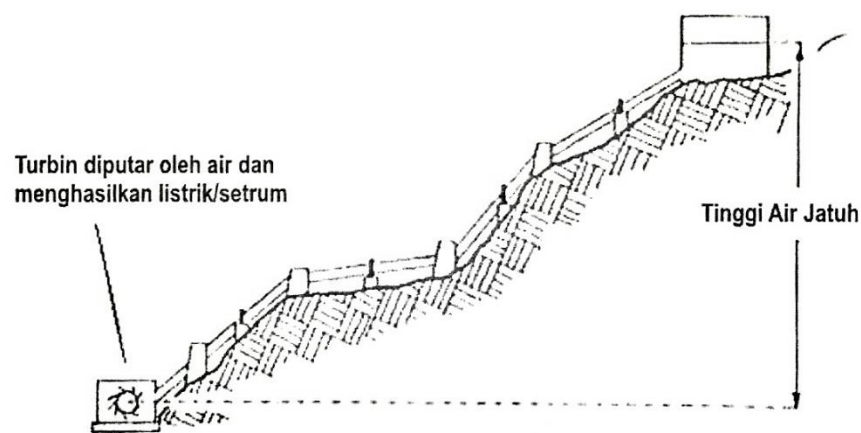


Gambar 2.2 Situasi Umum PLTMH Yang Biasa Ditemui Di Indonesia

(Sumber : Wibowo, 2005:04)

b. Cara Kerja PLTMH

Air dengan jumlah tertentu yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu, sehingga menggerakkan kincir yang ada pada turbin PLTMH. Kemudian putaran turbin tersebut digunakan untuk menggerakkan generator (dinamoa penghasil listrik) menghasilkan listrik, jadi PLTMH mengubah tenaga gerak yang berasal dari air menjadi listrik (Wibowo, 2005).



Gambar 2.3 Cara Kerja PLTMH Secara Sederhana
(Sumber : Wibowo, 2005:03)

2.3 Turbin Air

Turbin air adalah suatu mesin berputar yang mengkonversikan energi dari gerakan aliran air menjadi energi mekanis. Energi mekanis ditransfer melalui poros untuk menggerakkan generator. Turbin air salah satu pembangkit listrik tenaga air (PLTA) untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, dengan memanfaatkan aliran air atau tinggi air jatuh.

Menurut Wiranto (1997) turbin secara umum adalah sebagai mesin penggerak mula, dimana energi fluida kerja yang digunakan langsung memutar roda turbin, fluida kerjanya dapat berupa air, uap dan gas. Sehingga turbin air dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak mula yang fluida kerjanya adalah air.

Ditinjau dari daya yang dihasilkan turbin air, maka dikenal istilah sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hydro (PLTMH) yang artinya adalah turbin air dapat menghasilkan daya kurang dari 100 kW dan sumber airnya relatif kecil .

Tabel 2.1 Jenis Turbin Berdasarkan Tinggi Air Jatuh (H)

No.	Jenis Turbin	Head		
		High (> 30 m)	Medium	Low (< 10 m)
1	Impulse	- Pelton - Turgo	- Crossflow - Multi Jet Pelton - Turgo	- Crossflow
2	Reaksi		- Francis	- Propeller - Kaplan

(Sumber : Nugroho & Sallata, 2015:19)

Pada tabel 2.1 menunjukan berdasarkan tinggi air jatuh. Kecepatan putaran turbin utamanya ditentukan beda tinggi. Berdasarkan beda tinggi, desain turbin dapat dikelompokkan kedalam beda tinggi tergolong tinggi (*high head*) di atas 30 meter, sedang (*medium head*) dengan beda tinggi antara 10-30 meter, dan rendah (*low head*) dengan beda tinggi dibawah 10 meter (Nugroho & Sallata, 2015).

2.4 Prinsip Kerja Turbin Air

Prinsip kerja turbin air adalah aliran air di dalam pipa pesat yang terdapat energi diarahkan ke roda turbin melalui *nozzle*, kemudian energi air pada roda turbin diubah menjadi energi mekanik berupa putaran. Putaran dari roda turbin dimanfaatkan untuk menggerakkan suatu beban.

Pada roda turbin terdapat sudu yaitu suatu konstruksi lempengan dengan bentuk dan penampang tertentu, air sebagai fluida kerja mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut, sehingga roda turbin dapat berputar dan pada sudu menghasilkan suatu gaya yang bekerja.

Gaya terjadi karena adanya perubahan momentum dari fluida kerja air yang mengalir diantara sudu-sudu, sehingga dapat terjadi perubahan momentum pada fluida kerja air (Wiranto, 1997:4).

2.5 Klasifikasi Turbin Air

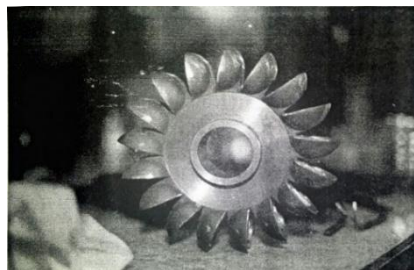
Turbin air dibedakan dua kelompok, yaitu berdasarkan kapasitas aliran dan tinggi air jatuh. Berdasarkan klasifikasi turbin air dibagi menjadi dua, antara lain :

a. Turbin Impuls

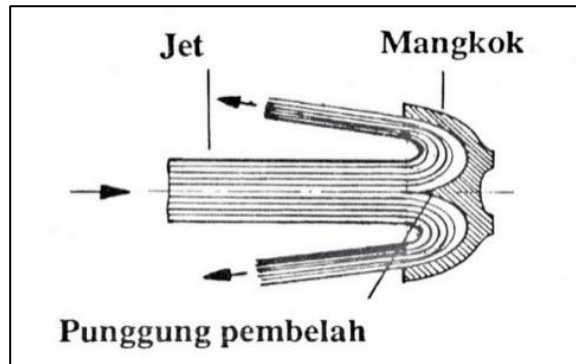
Turbin impuls disebut dengan turbin air tekanan sama karena tekanan air yang keluar dari nozel tekanannya sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Sehingga energi tempat dan energi tekanan yang dimiliki oleh aliran air dirubah semuanya menjadi energi kecepatan. Ada beberapa jenis turbin air yang termasuk turbin impuls, antara lain : Turbin Pelton dan Turbin *Cross Flow* (Dietzel, 1980:18).

1. Turbin Pelton

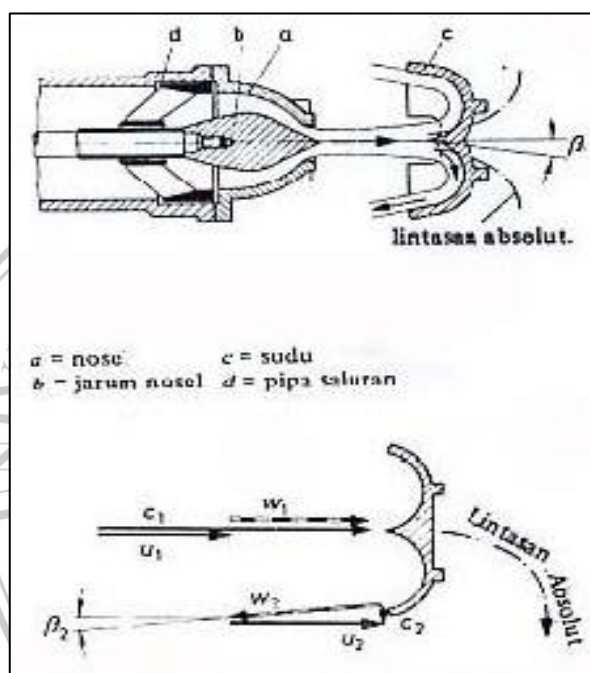
Turbin ini ditemukan sekitar 1880 oleh Pelton dari Amerika. Turbin pelton merupakan turbin impuls. Turbin Pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nozzle. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin Pelton adalah turbin yang tepat digunakan untuk head tinggi.



Gambar 2.4. Runner Turbin Pelton
(Sumber :Eisenring, Niederuzwil, & Switzerland, 1991)

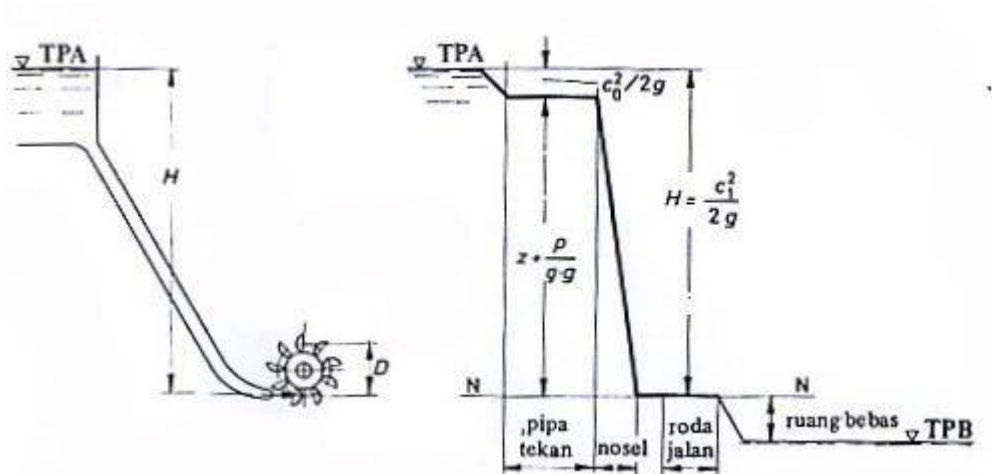


Gambar 2.5. Pembelokan Pancaran Turbin Pelton
(Sumber :Eisenring et al., 1991:03)



Gambar 2.6. Skema Irisan Penampang Nozzle dan Ember Sudu (atas) dan Bagan Kecepatan pada Turbin Pelton (bawah).
(Sumber : Dietzel, 1980:18;25)

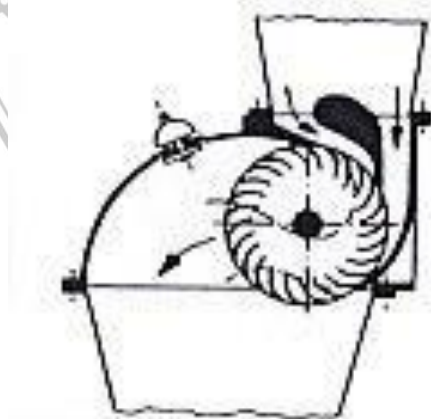
Pada gambar 2.5 turbin pelton punter terjadi akibat pembelokan pancaran air pada mangkok ganda *runner*. Turbin pelton disebut juga sebagai turbin pancaran bebas. Pelton menyempunakan dengan menerapkan mangkok ganda simetris. Punggung pembelah membagi jet menjadi dua paruh yang sama dan dibelokkan menyamping.



Gambar 2.7. Skema Perubahan Head pada Turbin Pelton
(Sumber : Dietzel, 1980:18)

2. Turbin *Cross Flow*

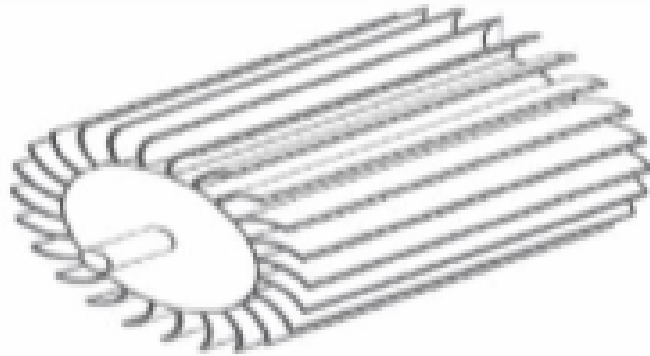
Turbin jenis impuls ini juga dikenal dengan nama Turbin Michell-Banki. Turbin ini mengalami modifikasi oleh Michell berasal dari Australia dan Banki berasal dari Honggaria. Selain itu juga disebut Turbin *Ossberger* yang merupakan perusahaan yang memproduksi turbin *cross flow*. Turbin *crossflow* dapat digunakan pada debit 20 liter/sec hingga 10 m³/sec dan head antara 1 s/d 200 m.



Gambar 2.8. Skema Turbin Aliran *Ossberger*
(Sumber :Dietzel, 1980:36)

Turbin *cross flow* menggunakan *nozzle* persegi panjang dengan lebar sesuai dengan lebar *runner*. Pancaran air masuk pada turbin mengenai sudu sehingga

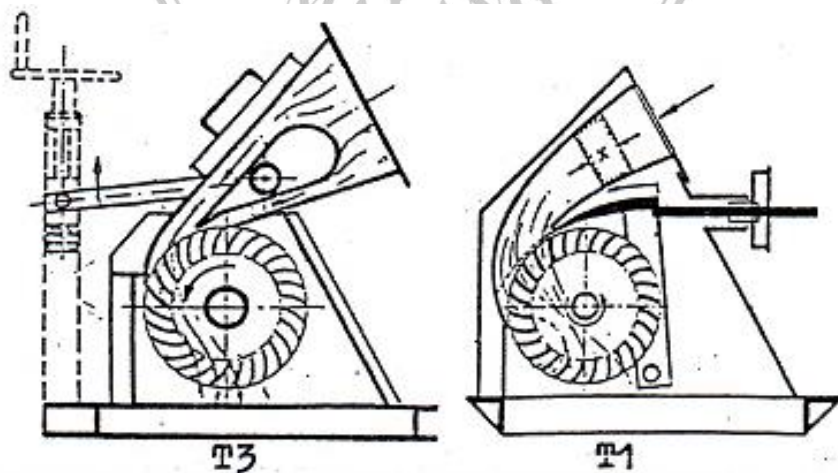
terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan tekanan (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian meninggalkan turbin. *Runner* pada turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang dengan sepasang piringan paralel.



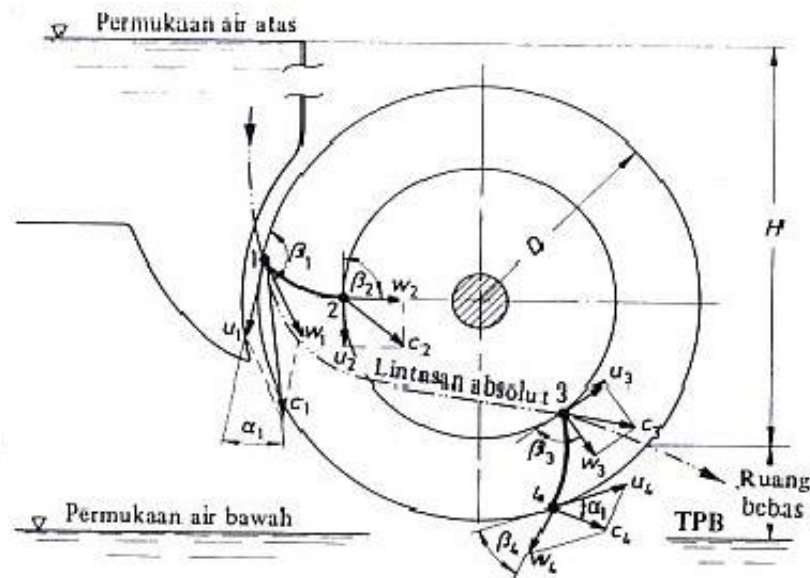
Gambar 2.9 *Runner Turbin Crossflow*
(Sumber :Yuniarti, 2012)

Turbin *Cross Flow* secara umum dapat dibagi dalam dua tipe lihat pada gambar 2.10 (Meier, Ueli:1990) yaitu :

1. Tipe T1, yaitu Turbin *Cross Flow* kecepatan rendah .
2. Tipe T3, yaitu Turbin *Cross Flow* kecepatan tinggi.

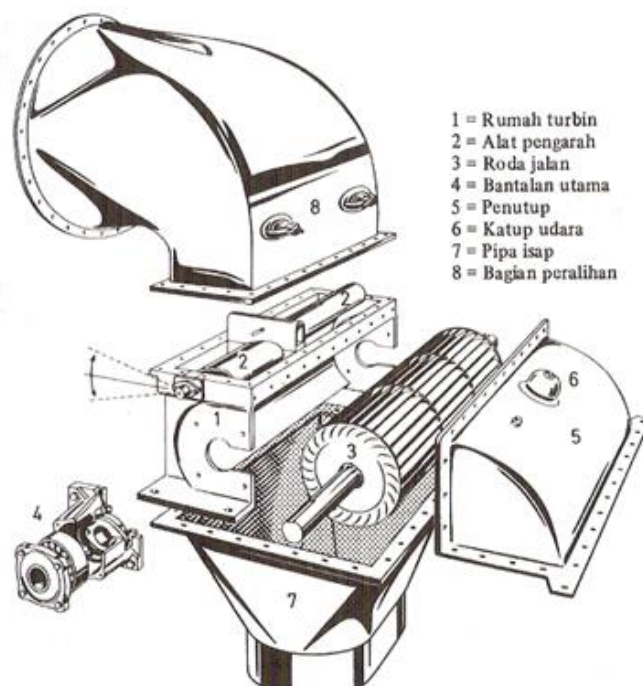


Gambar 2.10. *Runner Turbin Cross flow*
(Sumber : Haimerl, L.A., 1960)



Gambar 2.11. Kecepatan pada Turbin Aliran Ossberger
(Sumber :Dietzel, 1980:37)

Turbin *cross flow* digunakan untuk pusat tenaga air yang kecil dengan daya kurang dari 750 kW. Pembuatan dan pemasangan konstruksi sangat sederhana, dan biaya pembuatan murah. Konstruksi secara lengkap dapat dilihat pada gambar 2.12.



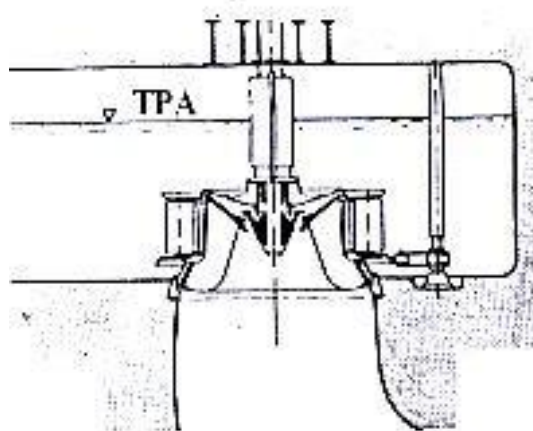
Gambar 2.12. Konstruksi Turbin Cross flow
(Sumber : Haimerl, L.A., 1960)

b. Turbin Reaksi

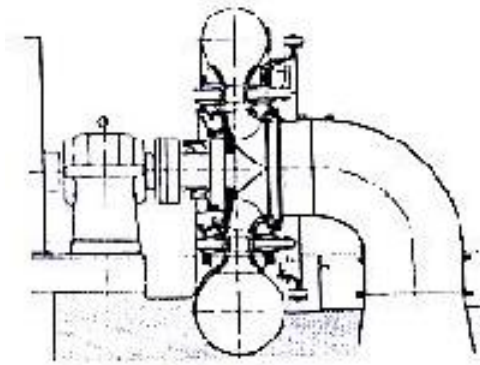
Turbin reaksi disebut juga dengan turbin tekanan lebih karena tekanan air sebelum masuk roda turbin lebih besar dari pada tekanan air saat keluar roda turbin. Secara umum dapat dikatakan bahwa aliran air yang masuk ke roda turbin mempunyai energi penuh, kemudian energi ini dipakai sebagian untuk menggerakkan roda turbin dan sebagian lagi dipergunakan untuk mengeluarkan air ke saluran pembuangan. Jenis turbin reaksi yang sering digunakan antara lain, turbin francis, turbin propeler atau kaplan (Dietzel, 1980:17).

1. Turbin Francis

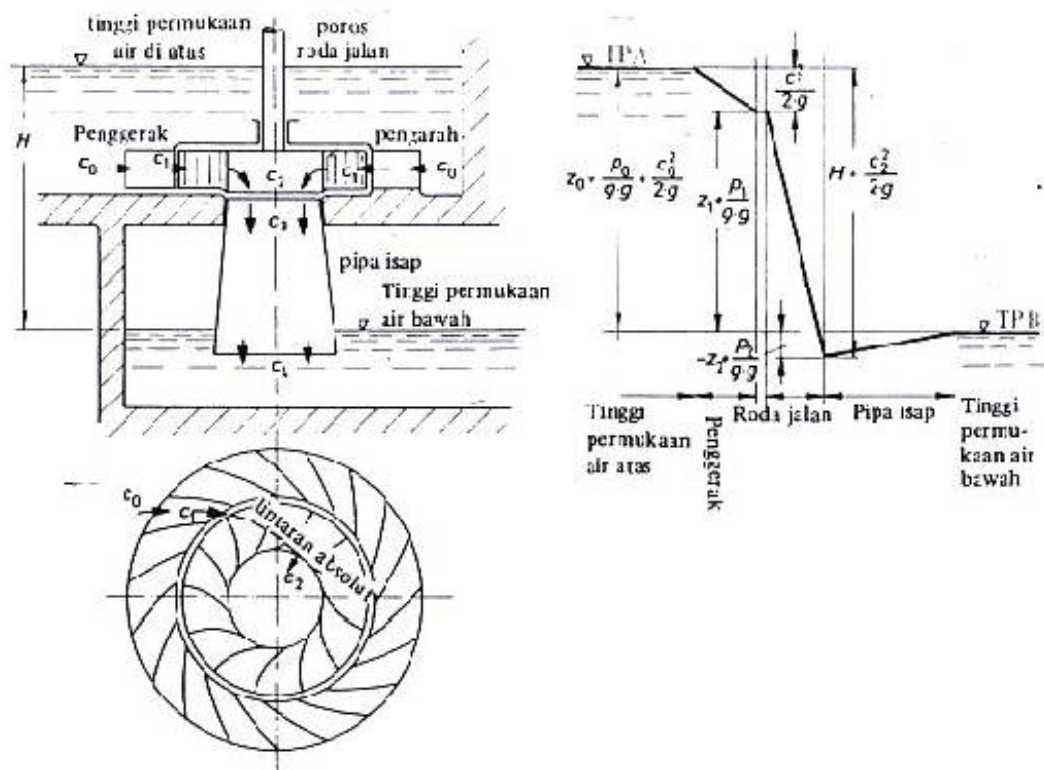
Turbin francis merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi dibagian masuk dan air bertekanan rendah dibagian keluar. Turbin Francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada turbin francis dapat merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudutnya. Sudu pengarah merupakan pilihan yang tepat untuk penggunaan pada berbagai kondisi aliran air.



Gambar 2.13. Turbin *Francis* tipe Horizontal
(Sumber : Dietzel, 1980:15)



Gambar 2.14. Turbin *Francis* tipe Vertikal
(Sumber : Dietzel, 1980:15)

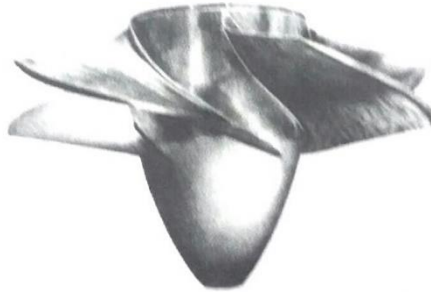


Gambar 2.15. Skema Turbin *Francis* dan Perubahan *Head*
(Sumber : Fritz Dietzel, 1992:16)

2. Turbin Kaplan

Turbin Kaplan merupakan turbin tekanan yang spesial. Sudu jalannya kemurniannya kecil dan pada saluran sudu jalan belokannya kecil. Sudu jalan dapat diatur saat bekerja, kedudukannya dapat diatur dan disesuaikan dengan tinggi jatuh

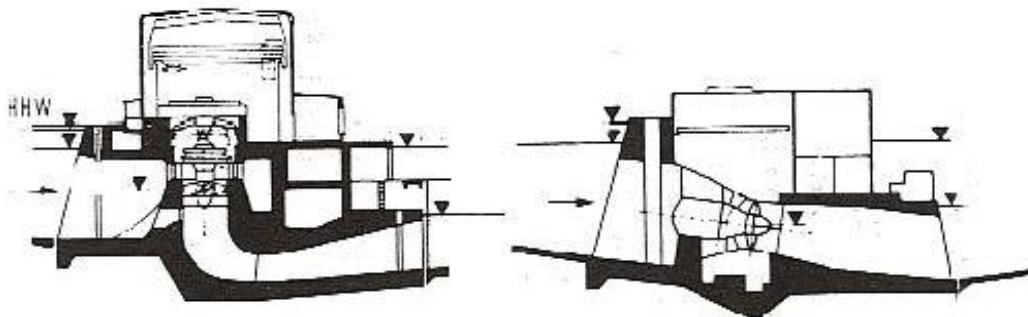
air sehingga sesuai untuk pusat tenaga air pada aliran sungai. Sudu roda jalan turbin Kaplan mirip roda propeller, yang letak sudunya terpisah jauh satu sama lainnya.



Gambar 2.16. Roda baling-baling Turbin Kaplan
(Sumber : Fritz Dietzel, 1992:51)

3. Turbin Propeller

Pada dasarnya turbin propeller terdiri dari sebuah propeller (baling-baling), yang sama bentuknya dengan baling-baling kapal laut, yang dipasang pada tabung setelah pipa pesat. Turbin propeller biasanya mempunyai tiga sampai enam sudu, biasanya tiga sudu untuk turbin yang mempunyai head sangat rendah dan aliran air diatur oleh sudu statis atau wicket gate yang dipasang tepat di hulu propeller. Turbin propeller ini dikenal sebagai fixed blade axial flow turbine karena sudut sudu rotornya tidak dapat diubah. Efisiensi pengoperasi turbin pada beban sebagian aliran komponen untuk turbin jenis ini sangat rendah.



Gambar 2.17. Skema dua jenis Turbin Propeller, Poros Vertikal (kiri) dan Poros Horizontal (kanan)
(Sumber : Dietzel, 1980:61)

2.6 Berdasarkan Arah Aliran Masuk Turbin

a. *Inward Flow*

Inward flow adalah turbin yang arah aliran air masuk keliling luar *runner* tegar lurus poros dan menggerakkan turbin dengan arah sejajar poros.

b. *Outward Flow*

Outward flow adalah arah aliran masuk keliling keluar *runner* searah poros dan meninggalkan turbin dalam arah tegak.

c. *Mixed Flow Turbin*

Mixed flow turbin adalah air masuk *runner* dalam arah radial terhadap sumbu poros dan meninggalkan turbin dalam arah axial terhadap sumbu poros.

d. *Axial Flow Turbin*

Axial flow turbin adalah air masuk turbin sejajar dengan sumbu poros turbin.

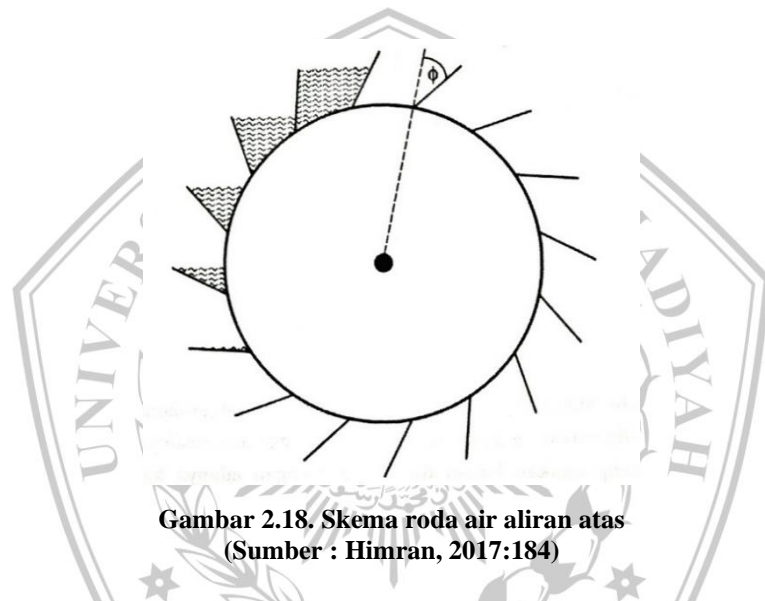
2.7 Roda Air

Roda air adalah alat penggerak hidrolik tertua yang dikenal manusia dan telah digunakan sejak zaman purbakala yang pada awalnya dibangun dengan menggunakan bahan dari kayu. Dengan adanya ketersediaan material baru seperti besi tuang serta kebutuhan daya mekanik selama revolusi industri, bertambahnya pengetahuan dalam bidang keteknikan hidrolik, perencanaan roda air telah menghasilkan peningkatan dalam kinerja dan efisiensinya. Roda air memiliki dampak lingkungan yang rendah karena memiliki putaran rendah, dan bekerja pada tekanan atmosfer (Himran, 2017).

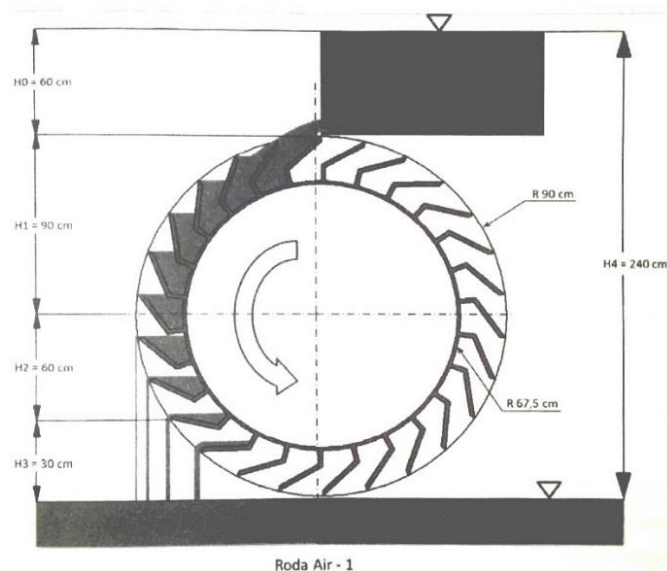
Ada tiga tipe roda air, antara lain :

a. Roda Aliran Atas (*Overshot*)

Roda aliran atas dapat dibangun di daerah dataran tinggi dan memiliki aliran air atas yang panjang sampai ratusan meter. Air dimasukkan pada bagian atas roda dan mengisi ember-ember yang terpasang pada sekitar roda. Dengan demikian, bagian depan roda menjadi lebih berat dari pada bagian belakang sehingga roda akan berputar. Skema roda air aliran atas dapat dilihat pada gambar 2.18.



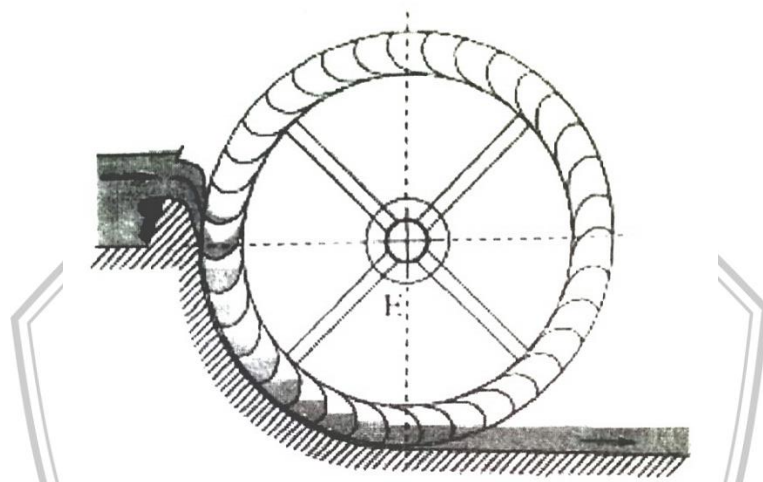
Gambar 2.18. Skema roda air aliran atas
(Sumber : Himran, 2017:184)



Gambar 2.19. Roda air aliran atas dengan 24 buah ember
(Sumber : Himran, 2017:185)

b. Roda Aliran Tengah (*Breastshot*)

Pemanfaatan roda air aliran tengah telah dipopulerkan di Inggris dan Jerman dalam abad ke-19. Air masuk ke roda kira-kira pada pertengahan ketinggian sumbu poros roda, dengan sudut yang agak curam guna mempercepat pengisian pada setiap ember. Pada perencanaan roda air yakni mengarahkan air kedalam dan keluar roda dengan meminimumkan kerugian.

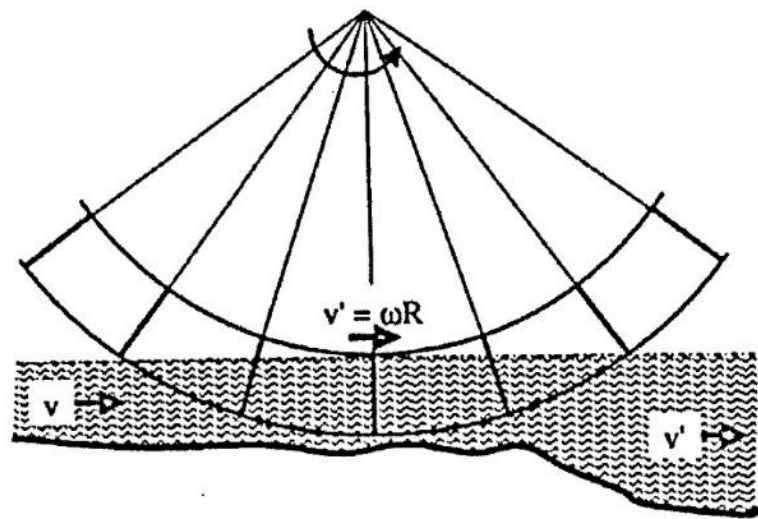


Gambar 2.20 Roda air aliran tengah (*breastshot water wheel*)
(Sumber : Himran, 2017:190)

Pada gambar 2.20 menunjukkan berat air dalam ember akan memberikan gaya putar pada roda, sehingga energi potensial sebesar mungkin dan energi kinetik serendah mungkin. Pada keadaan sekarang roda air tengah dapat memberikan efisiensi sampai dengan 79%.

c. Roda Aliran Bawah (*Undershot*)

Roda aliran bawah dapat dioperasikan dialiran sungai pada dataran rendah yang berdekatan dengan rumah penduduk. Dengan menganggap jari-jari roda cukup besar, sehingga aliran air tegak lurus pada sudu-sudu. Kontruksi sudu berbentuk tajam dan melengkung untuk menahan air sewaktu roda berputar dan air jatuh kembali keluar dari sisi sudu.



Gambar 2.21. Roda air aliran bawah
(Sumber : Himran, 2017:188)

2.8 Klasifikasi Turbin Menurut Daya Yang Dihasilkan

Untuk daya yang dihasilkan turbin dapat diklasifikasikan beberapa jenis, antara lain :

- *Large Hydro – Power*

Interval daya yang dihasilkan turbin mencapai 50 MW keatas.

- *Medium Hydro – Power*

Interval daya yang dihasilkan turbin antara 10 MW – 50 MW.

- *Small Hydro – Power*

Interval daya yang dihasilkan turbin antara 1000 kW – 10 MW.

- *Mini Hydro – Power*

Interval daya yang dihasilkan turbin antara 101 kW – 1000 kW.

- *Micro Hydro – Power*

Interval daya yang dihasilkan turbin antara 5 kW – 100 kW.

- *Pico Hydro – Power*

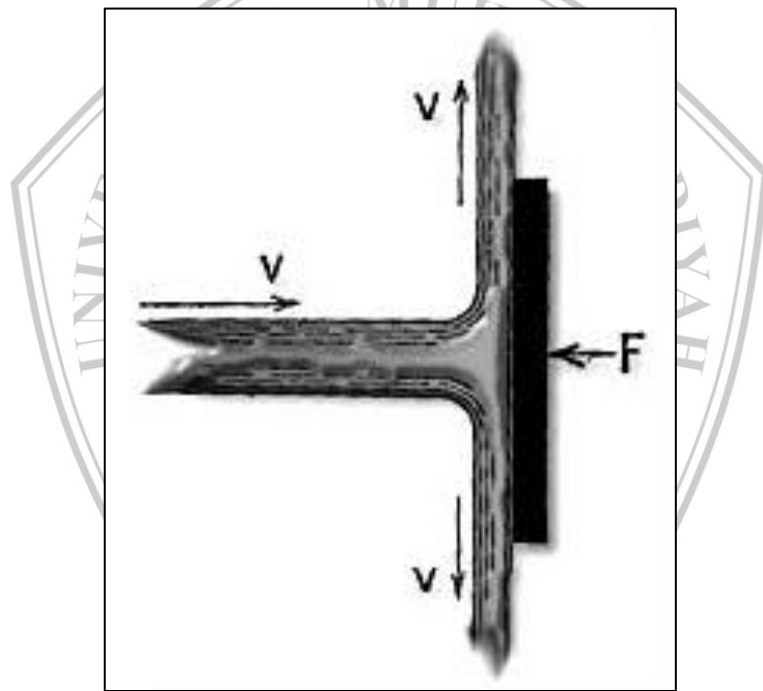
Interval daya yang dihasilkan turbin sampai 5 kW.

2.9 Prinsip Dasar Perancangan Turbin *Crossflow*

1. Pemindahan Gaya ke Turbin

a. Suatu plat yang tegak lurus terhadap pancaran air

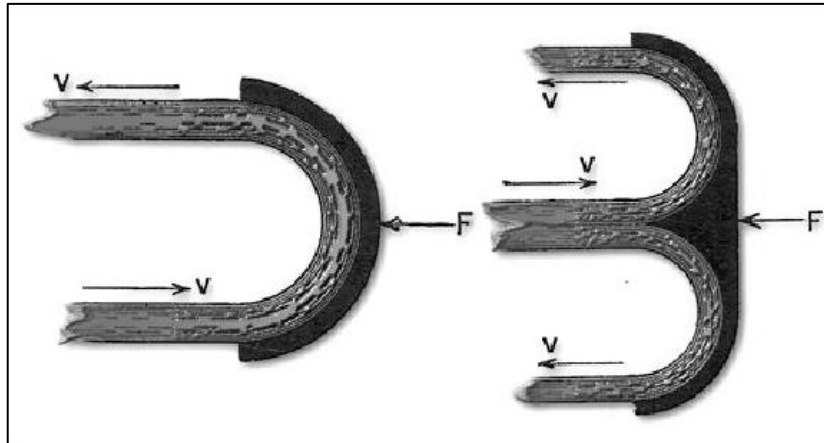
Pada gambar 2.18 pancaran air dengan kecepatan (v) yang memancar tegak lurus plat, akan menimbulkan suatu aksi atau gaya dorong/tumbukan m gaya yang mencoba mendorong plat. Besarnya gaya $F = m \cdot v$. Pancaran akan membelok 90° menyebar kesamping pada bidang plat maka akan terjadi perubahan vektor kecepatan yang berarti perubahan momentum.



Gambar 2.22. Gaya Aksi atau Gaya Dorong Tumbukan
(Sumber : Joe Cole, 2004:2)

b. Suatu penampang konstruksi sudu jalan terhadap pancaran air

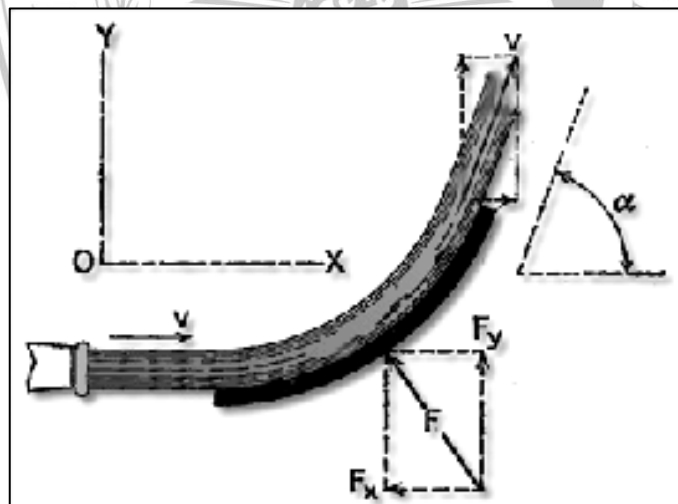
Gaya aksi sudu jalan pada gambar 2.23 menunjukkan pancaran air dengan kecepatan (v) memancar mengenai sudu jalan dengan konstruksi berbelok, akan menimbulkan suatu aksi atau gaya dorong (F) yang besarnya merupakan nilai dari kelipatannya.



Gambar 2.23. Gaya Aksi Sudu Jalan
(Sumber : Joe Cole, 2004:2)

c. Suatu penampang yang dengan sudut tertentu terhadap pancaran air

Jika pancaran air membentur satu sudu lengkung maka air akan dibelokkan sesuai sudut. Gaya (F) diuraikan berdasarkan komponen-komponennya yaitu sumbu x & y , lihat gambar 2.24.



Gambar 2.24. Gaya Aksi Penampang Sudut
(Sumber : Joe Cole, 2004:3)

2. Aliran Pergerakan Air pada Turbin

Pada gambar 2.21 diasumsikan bahwa pancaran air dari *nozzle* masuk kedalam *runner* pada titik A dengan sudut α yang bersinggungan dengan keliling *runner*.

Kecepatan air sebelum memasuki *runner* dapat dihitung dengan persamaan:

$$V_1 = C(2gH)^{1/2} \quad \dots(\text{Mockmore \& Merryfield, 1949:6})$$

dengan : V_1 = Kecepatan absolut.

H = Tinggi jatuh air

C = Koefisien berdasarkan nozzle

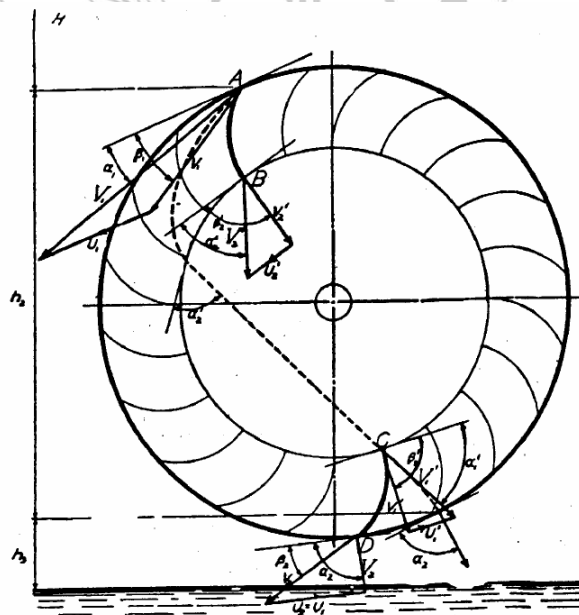
Dalam turbin berhubungan dengan komponen – komponen kecepatan yaitu:

V = Kecepatan mutlak, karena daerah sekelilingnya adalah tetap diam tidak bergerak.

v = Kecepatan relatif, karena berhubungan dengan bagian yang bergerak yaitu sudu jalan turbin.

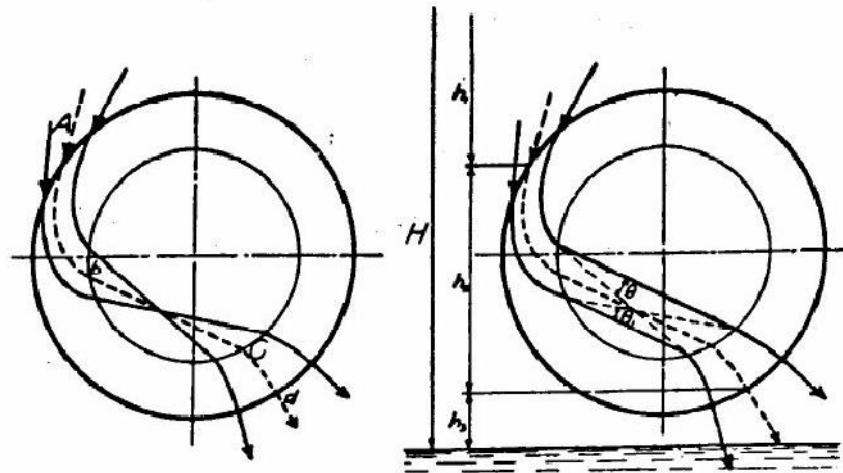
u = Kecepatan tangensial roda turbin.

α adalah sudut antara kecepatan absolut dengan kecepatan sudu turbin dan β adalah sudut yang dibentuk antara garis yang menyinggung keliling lingkaran *runner* dengan kecepatan relatif.



Gambar 2.25. Aliran Pergerakan Air pada Turbin
(Sumber : Mockmore & Merryfield, 1949:6)

Alur aliran pergerakan aliran air pada kenyataannya tidak seperti yang terdapat dalam gambar 2.21, akan tetapi terdapat defleksi sebesar θ seperti dalam gambar 2.22.



Gambar 2.26. Pergerakan Aliran Air Turbin
(Sumber : Mockmore & Merryfield, 1949:8)

3. Debit Air

Debit air merupakan kapasitas air yang menentukan dalam perencanaan turbin air, karena daya yang dihasilkan oleh turbin sangat tergantung pada debit air yang tersedia. Menurut persamaan kontinuitas debit air yang mengalir dalam pipa bertekanan dapat ditentukan dengan persamaan :

$$Q = V \cdot A \quad \dots \text{ (Suryono, 1991:1) }$$

Dimana : $Q = \text{Debit air} \quad (\text{m}^3/\text{s})$

$V = \text{Kecepatan aliran air} \quad (\text{m/s})$

$A = \text{Luas penampang pipa} \quad (\text{m}^2)$

4. Efisiensi Turbin

Efisiensi (ϵ) merupakan rasio perbandingan daya output dan daya input.

Berdasarkan gambar 2.26 dapat diturunkan persamaan daya pengereman.

Daya pengereman :

$$HP = (w \cdot Q/g)(V_1 \cos \alpha_1 + V_2 \cos \alpha_2)u_1 \dots (\text{Mockmore \& Merryfield, 1949:17})$$

Pada rumus (2.8) dapat direduksi dengan menggunakan segitiga kecepatan seperti ditunjukkan pada rumus (2.9).

$$V_2 \cos \alpha_2 = V_2 \cos \beta_2 - u_1 \dots (\text{Mockmore \& Merryfield, 1949:7})$$

Mengabaikan kecepatan air dalam ketinggian h_2 (gambar 2.22) yang memasuki bagian bawah.

$$V_2 = \Psi V_1 \dots (\text{Mockmore \& Merryfield, 1949:17})$$

Ψ = koefisien empiris yang nilainya 0,98

Dari diagram kecepatan pada gambar 2.18 didapatkan:

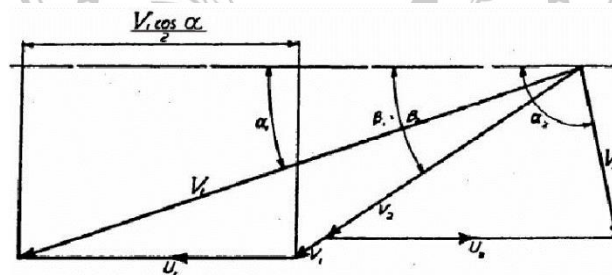
$$v_1 = (V_1 \cos \alpha_2 - u_1) / (\cos \beta_2) \dots (\text{Mockmore \& Merryfield, 1949:7})$$

Substitusi persamaan 2.9, 2.10 dan 2.11 didapatkan :

$$HP_{\text{output}} = (wQu_1/g) \cdot (V_1 \cos \alpha_1 - u_1) \cdot (1 + \Psi \cos \beta_2 \cos \beta_1)$$

Secara teoritis daya input adalah

$$HP = \frac{wQH}{g} = \frac{wQV_1^2}{c^2 2g} \dots (\text{Mockmore \& Merryfield, 1949:8})$$



Gambar 2.27. Defleksi Pergerakan Aliran Air Turbin
(Sumber : Mockmore & Merryfield, 1949:8)

Efisiensi :

$$\varepsilon = (2C^2 u_1 / V_1) (1 + \psi \cos \beta_2 / \cos \beta_1) \cdot (\cos \alpha_1 - u_1 / V_1)$$

Dengan :

$$\beta_2 = \beta_1 \text{ maka :}$$

$$\varepsilon = (2C^2 u_1 / V_1) (1 + \psi) (\cos \alpha_1 - u_1 / V_1) u_1 \cdot V_1 = \cos \alpha_1 / 2$$

$$\varepsilon_{\max} = 0,5 C^2 (1 + \psi) \cos^2 \alpha_1 \dots (\text{Mockmore \& Merryfield, 1949;9})$$

Dimana efisiensi di atas benar apabila nilai ψ dan C merupakan satu kesatuan dimana tidak ada *head losses* dan tidak ada gesekan pada nosel dan sudu. Nilai efisiensi maksimum tercapai pada sudut masuk α_1 16° dengan nilai $\psi = 0.98$ dan $C = 0.98$.

5. Konstruksi Turbin Aliran Silang (*Cross flow*)

Sudut sudu masuk sisi atas pada keliling luar *runner* β yang dapat dilihat pada gambar 2.17 dan 2.19. Sehingga sudut β_1 dapat ditentukan oleh nilai α_1 , V_1 , dan u_1 .

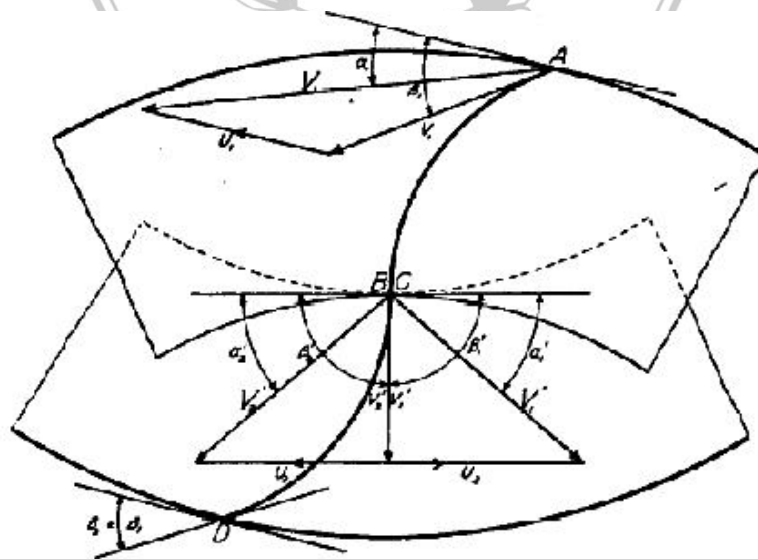
Jika $u_1 = \frac{1}{2} V_1 \cos \alpha_1$

maka $\tan \beta_1 = 2 \tan \alpha_1$

apabila $\alpha_1 = 30^\circ$

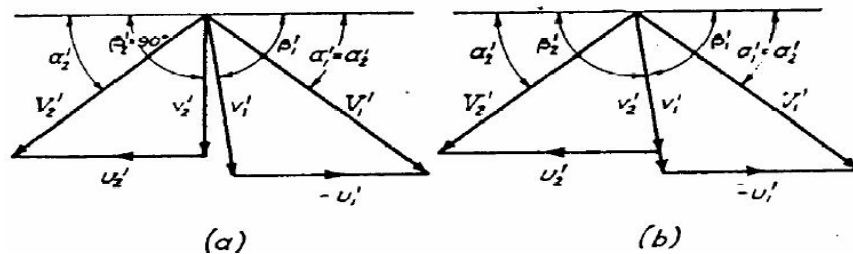
maka $\beta_1 = 29^\circ, 50^\circ$ atau 30° atau nilai pendekatan

(Mockmore & Merryfield, 1949;10)



Gambar 2.28. Diagram Kecepatan pada Turbin Aliran Silang
(Sumber : Mockmore & Merryfield, 1949:11)

β_2' adalah sudut sudu keluar sisi atas pada keliling dalam *runner*. Dengan asumsi $v_1 = v_2$ dan $\alpha_1 = \alpha_2$, untuk membuat aliran pancaran air radial maka besarnya $\beta_2' = 90^\circ$.



Gambar 2.29. Diagram Kecepatan pada Turbin Aliran Silang
(Sumber : Mockmore & Merryfield, 1949:11)

6. Daya Turbin

Apabila ditinjau dari kapasitas / debit air dan tinggi jatuh air, daya turbin yang direncanakan dapat ditentukan dengan rumus :

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot \eta_T \quad \dots \text{ (Friet Dietzel, 1990 : 2)}$$

Dimana : P = Daya turbin (W)

Q = Debit aliran air (m^3/s)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

H = Tinggi jatuh air efektif (m)

η_t = Efisiensi turbin. Untuk turbin air harga efisiensi berkisar

antara 84% - 94%. (wiranto, 1997:1)

7. Kecepatan Spesifik

Kecepatan spesifik dapat didefinisikan sebagai jumlah putaran roda turbin dimana dapat dihasilkan daya 1 Hp untuk setiap jatuh air 1 ft. (Wiranto, 1997:67).

Dalam bentuk persamaan kecepatan spesifik dapat dirumuskan sebagai :

$$n_s = n \frac{\sqrt{Q}}{(H)^{3/4}} \quad \dots(\text{Fritz Dietzel, 1988;20})$$

Dimana : Q = Debit air yang dibutuhkan (m^3/s)

H = Head air (m)

n = Kecepatan putaran turbin (rpm)

2.10 Bagian-bagian Turbin Air Crossflow

1. Runner

a. Diameter Luar *runner* (D_1)

$$D_1 = 862H^{1/2}/N \quad \dots(\text{Mockmore, 2004;14})$$

dengan :

H = head ketinggian (inci)

N = putaran turbin (rpm)

b. Panjang Turbin (L)

$$L = 144QN/862 H^{1/2} Ck(2gH)^{1/2} \quad \dots(\text{Mockmore, 2004;15})$$

dengan :

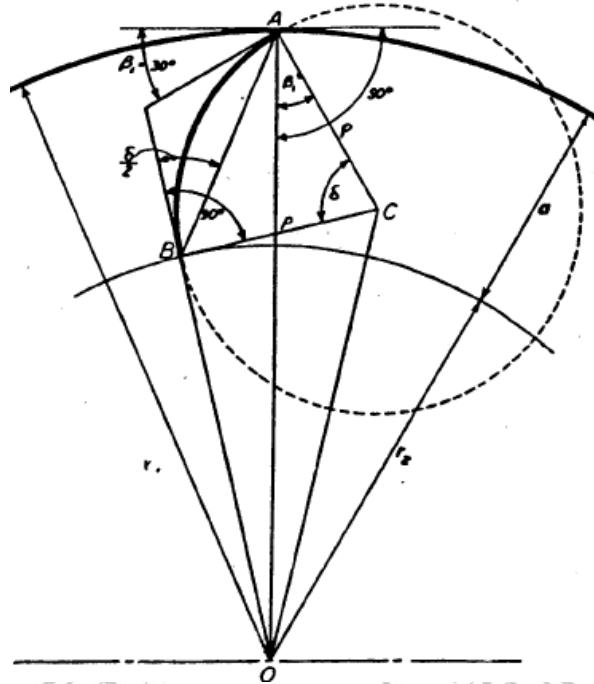
Q = Debit aliran air (cfs)

C = Koefisien *nozzle* = 0.98

k = Faktor koreksi = 0.087

c. Perbandingan panjang dan diameter turbin

$$LD_1 = 210.6Q/H^{1/2} \quad \dots(\text{Mockmore, 2004;17})$$



Gambar 2.30. Kelengkungan Sudu
(Sumber : Mockmore, 2004:16)

d. Jari-jari kelengkungan sudu (ρ)

$$\rho = 0.3261 r_1 \quad \dots(\text{Mockmore, 2004;15})$$

dengan :

r_1 = jari-jari luar *runner* (inchi)

e. Lebar velk radial (a)

Nilai lebar velk radial dapat ditentukan dari persamaan 2.26 dengan mengabaikan tebal sudu.

$$a = 0,17D_1 \quad \dots(\text{Mockmore, 2004;12})$$

f. Jarak antar sudu

Meliputi Jarak antar sudu pancaran air masuk (s_1), Jarak sudu pancaran air keluar (s_2) dan jarak antar sudu.

$$s_1 = kD_1 \quad \dots(\text{Mockmore, 2004;14})$$

$$s_2 = t(r_2/r_1) \quad \dots(\text{Mockmore, 2004;11})$$

$$t = s_1/\sin \beta_1 \quad \dots(\text{Mockmore, 2004;10})$$

g. Jumlah sudu (n)

$$n = \pi D_1/t \quad \dots(\text{Mockmore, 2004;17})$$

h. Jarak pancaran dari poros (y_1)

$$y_1 = (0.1986-0.945k) D_1 \quad \dots(\text{Mockmore, 2004;14})$$

i. Jarak pancaran dari keliling dalam (y_2)

$$y_2 = (0.1314-0.945k) D_1 \quad \dots(\text{Mockmore, 2004;14})$$

j. Efisiensi maksimal turbin

Jika :

$$u_1 = \frac{1}{2} V_1 \cos \alpha_1$$

Maka :

$$\tan \beta_1 = 2 \tan \alpha_1$$

$$\psi = \text{koefisien empiris nilainya (0,98)} \quad \dots(\text{Mockmore, 2004;7})$$

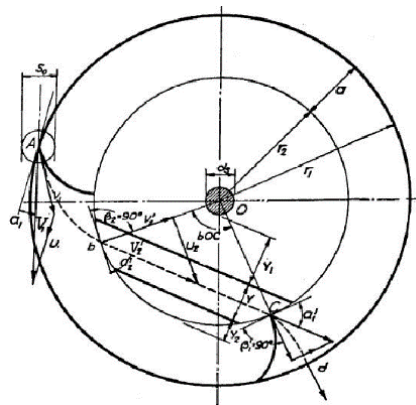
$$\varepsilon_{\max} = 0,5 C_2 (1 + \psi) \cos 2 \alpha_1 \quad \dots(\text{Mockmore, 2004;9})$$

k. Nosel

Meliputi penampang *nozzle* (A) dan tinggi pancaran air nosel (S_o)

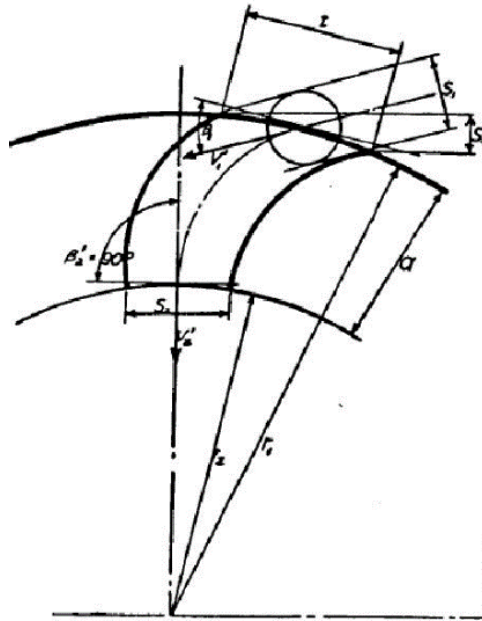
$$A = Q/V_1 \quad \dots(\text{Mockmore, 2004;17})$$

$$S_o = A / L \quad \dots(\text{Mockmore, 2004;17})$$



Gambar 2.31. Alur Pancaran Air dari Sisi Turbin

(Sumber : Mockmore, 2004:13)



Gambar 2.32. Jarak Antar Sudu
(Sumber : Mockmore, 2004:9)

- l. Sudut pusat sudu jalan (gambar 2.32)

$$\tan \frac{1}{2} \delta = \cos \beta_1 / (\sin \beta_1 + r_2/r_1)$$

- m. Perhitungan poros Parameter-parameter yang digunakan dalam perhitungan poros sebagai berikut ;

- P = daya yang ditransmisikan (kW)
 - Fc = faktor koreksi(Sularso,2004,hal.7)
 - n = putaran poros (rpm)
 - Pd = fc×P (kW)
 - T = momen puntir rencana (kg.mm)
- $$T = 9,74 \times 10^5 \times nPd$$
- σ_B = kekuatan tarik bahan (kg/mm²)
 - Sf₁ dan Sf₂ = faktor keamanan
 - Cb = faktor Cb nilainya 1,2 sampai 2,3. jika diperkirakan tidak terjadi pembebanan lentur maka Cb = 1.

- K_t = faktor K_t dipilih 1,0 jika beban dikenakan secara halus, 1,0-1,5 jika dikenakan sedikit beban kejutan atau tumbukan, dan 1,5-3,0 jika beban kejutan atau tumbukan besar.

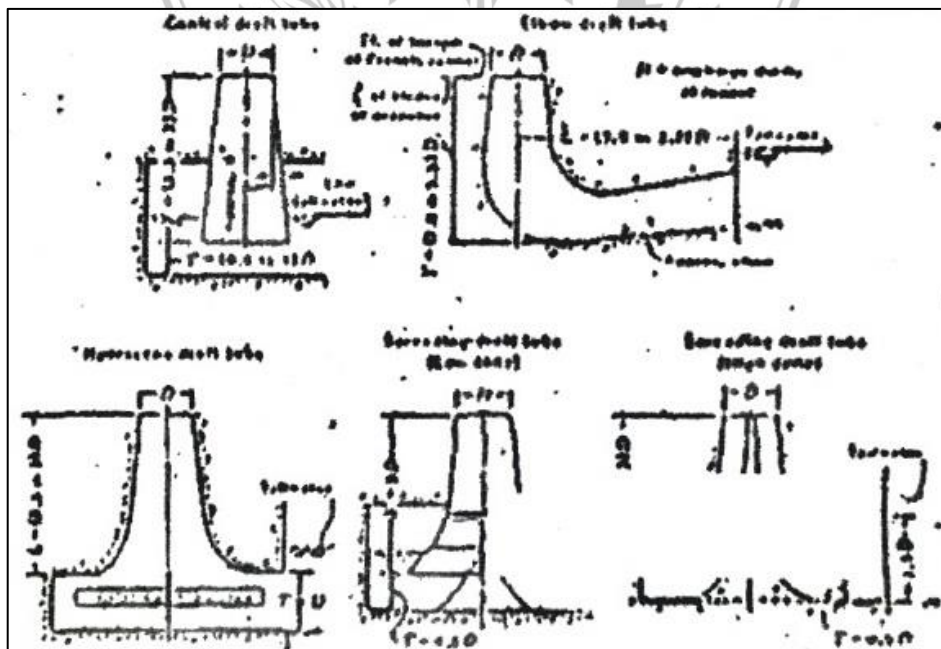
- $\tau_\alpha = \frac{\sigma_B}{s_{f_1} \times s_{f_2}} (kg/mm^2)$

- $d_s = \text{diameter minimal poros (mm)}$

$$d_s = \left[\frac{5.1}{\tau_\alpha} \times K_t \times C_b \times T \right]^{\frac{1}{3}}$$

2. Draft Tube

Draft tube atau pipa isap adalah pipa yang menghubungkan turbin *outlet* dari jenis turbin reaksi dengan saluran bawah (*tail race*). Secara umum fungsi dari pipa isap untuk menyalurkan air yang keluar dari runner turbin ke *tail race* dengan kehilangan energi sekecil mungkin. Efisiensi turbin akan lebih tinggi, karena energi kinetik air yang masih besar direduksi sedemikian rupa didalam pipa isap dan kecepatan aliran air yang keluar dari pipa isap menjadi lebih rendah.



Gamabar 2.33. Macam-macam Draft Tube

a. Diameter Draft Tube

Diameter dapat dicari dengan rumus :

$$D_s = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot C_s}}$$

Dimana :

Q = kapasitas air (m^3/det)

C_s = kecepatan aliran masuk dalam draft tube

b. Panjang *Draft Tube*

Panjang *Draft Tube* dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$L = [2,5-3] \cdot D_s$$

Dimana :

D_s = Diameter *darft tube*

c. Diameter sisi keluar *Draft Tube*

Diameter *draft tube* pada sisi luar draft tube dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$D_{s \text{ out}} = 1,2 \cdot D_s$$

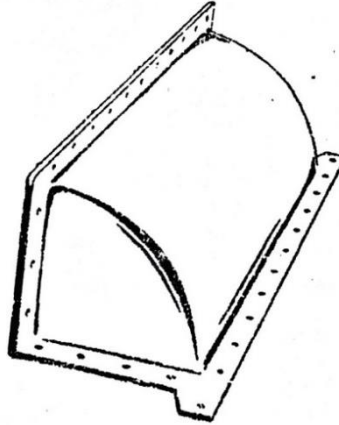
Dimana :

D_s = Diameter *draft tube*

3. Rumah Turbin

Pada perancangan rumah turbin (*casing*) kecepatan air dan lancarnya air saat memasuki turbin akan berpengaruh terhadap efisiensi turbin. Untuk meingkatkan pemasukkan maka diperlukan saluran air yang menghantarkan air ke pipa pusat penampungan yang berbentuk persegi dengan ukuran masuk sesuai ukuran atau panjang runner sehingga pemasukkan air merata.

Untuk meperkuat rumah turbin atau casing gaya yang ditimbulkan oleh tekanan air yang mengakibatkan casing akan terbuka keluar, maka di perlukan sudu tetap dan juga baut sebagai penguat.



Gambar 2.34. Skema Rumah Turbin
(Sumber : Friezt Dietzel, 1990)

- Konstanta

Konstanta rumah turbin dapat dicari dengan rumus :

$$K = R \times Cu$$

Dimana :

K = Konstata

R = Jari-jari sudu sisi keluar

Cu = Kecepatan aliran pada sisi masuk

Untuk mencari $Cu = Cu_{\max} \times \cos^{\alpha}_{\max}$

Dimana : α_{\max} = sudut keluar sudu antar

Cu_{\max} = Kecepatan aliran mutlak

2.11 Komponen Transmisi Daya

1. Poros

Sebagaimana yang telah dijelaskan di atas bahwa poros turbin berfungsi untuk memindahkan daya dari putaran turbin. Beban yang diterima oleh poros

turbin antara lain beban puntir dan beban lentur, sehingga dengan adanya beban ini maka akan terjadi tegangan puntir dan tegangan lentur sebagai akibat dari adanya momen puntir dan momen lentur (Sularso & Suga, 2004:17).

Momen puntir turbin dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$M_p = \frac{P}{w}$$

Dimana : M_p = Momen puntir (N.mm)

P = Daya yang ditransmisikan (KW)

w = Kecepatan sudut (rpm)

$$w = 2.\pi.n$$

n = Kecepatan putaran turbin (rpm)

(Stolk,1993 :170)

Tegangan puntir dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\tau_a = \frac{\sigma_b}{Sf_1 Sf_2}$$

Dimana :

τ_a = Tegangan izin poros (N/mm²)

σ_b = Tegangan tarik bahan poros (N/mm²)

Sf_1 = Faktor kelelahan puntir

Sf_2 = Faktor keamanan karena poros dibuat bertingkat dan diberi pasak

Harga Sf_1 untuk bahan poros SF = 5,6 dan untuk bahan poros S-C = 6, sedangkan harga dari Sf_2 berkisar sekitar 1,3 sampai 3 (Sularso,1994 :8).

Sehingga diameter poros turbin dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$d = \left[\frac{5,1 K_t C_b M_p}{\tau_a} \right]^{1/3}$$

Dimana :

d = Diameter poros (m)

τ_a = Tegangan izin poros (N/mm²)

M_p = Momen torsi yang diterima poros (N.mm)

K_t = Faktor koreksi untuk momen puntir

C_b = Faktor koreksi untuk beban lentur

(Sularso & Suga, 2004:8)

Jika beban yang dikenakan secara kecil harga $K_t = 0,1$ jika beban yang digunakan sedikit kejutan dan tumbukan harga $K_t = 1,0 - 1,5$ dan jika beban yang dikenakan dengan kejutan atau tumbukan harga $K_t = 1,3 - 3$, karena poros juga menerima beban lentur dari berat turbin maka diperlukan faktor koreksi untuk beban lentur (C_b) yang harganya antara 1,2 – 2,3. (Sularso & Suga, 2004).

Disamping hal-hal diatas, pemilihan bahan poros juga merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan poros.

2. Bantalan

Bantalan adalah komponen turbin yang berfungsi untuk menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan panjang umur. Bantalan harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta komponen turbin lainnya bekerja dengan baik. Jika bantalan tidak berfungsi dengan baik maka performa seluruh sistem turbin akan menurun atau tidak dapat bekerja secara semestinya.

- Klasifikasi Bantalan :

- a. Atas dasar gerakan bantalan terhadap poros

- 1. Bantalan Luncur

Pada bantalan luncur terjadi gesekan antara poros dan bantalan karena permukaan poros ditumpu oleh permukaan bantalan dengan perantaraan lapisan pelumas.

2. Bantalan Gelinding

Pada bantalan gelinding ini terjadi gesekan gelinding antara bagian yang berputar dengan yang diam melalui elemen gelinding.

b. Atas dasar arah beban terhadap poros

1. Bantalan Radial

Arah beban yang ditumpu bantalan ini adalah tegak lurus sumbu poros.

2. Bantalan Aksial

Arah beban bantalan ini sejajar dengan sumbu poros.

3. Bantalan gelinding khusus

Bantalan ini dapat menumpu beban yang arahnya sejajar dan tegak lurus sumbu poros.

- Perbandingan bantalan luncur dan bantalan gelinding :

a. Bantalan luncur

Bantalan ini mampu menumpu poros berputar tinggi dengan beban besar. Bantalan ini mempunyai konstruksi sederhana dan dapat dibuat serta dipasang dengan mudah. Sehingga gesekan yang besar pada waktu mulai jalan, bantalan luncur memerlukan momen awal yang besar dan pelumasan pada bantalan ini tidak begitu sederhana. Panas yang timbul dari gesekan yang besar, terutama pada beban besar, memerlukan pendinginan khusus. Sekalipun demikian, karena adanya lapisan pelumas, bantalan ini dapat meredam tumbukan dan getaran sehingga

hampir tidak bersuara. Dengan tingkat ketelitian yang diperlukan tidak setinggi bantalan gelinding sehingga dapat lebih murah.

b. Bantalan gelinding

Pada umumnya lebih cocok untuk beban kecil dari pada bantalan luncur, tergantung pada bentuk elemen gelindingnya. Putaran pada bantalan gelinding dibatasi gaya sentrifugal yang timbul pada elemen gelinding. Karena konstruksi yang rumit dan ketelitiannya yang tinggi, maka bantalan gelinding hanya dapat dibuat oleh pabrik-pabrik tertentu saja. Keunggulan pada bantalan gelinding adalah pada gesekan yang sangat rendah. Pelumasannya cukup dengan gemuk, pada macam yang memakai sil sendiri tidak perlu pelumasan lagi. Dengan ketelitian sangat tinggi, karena adanya gerakan elemen gelinding dan rumah pada putaran tinggi bantalan ini agak gaduh dibandingkan dengan bantalan luncur.

Pada saat pemilihan bantalan, ciri masing-masing harus dipertimbangkan sesuai dengan pemakaian, lokasi dan macam beban yang akan dialami.

- Jenis-jenis bantalan gelinding :

Bantalan gelinding memiliki keuntungan dari gesekan gelinding yang sangat kecil dibandingkan dengan bantalan luncur. Pada elemen gelinding seperti bola atau rol, dipasang antara cincin luar dan cincin dalam. Dengan memutar salah satu cincin, bola atau rol akan membuat gerakan gelinding sehingga gesekan akan lebih kecil. Pada bola atau rol, ketelitian tinggi dalam bentuk dan ukuran adalah keharusan, sehingga luas bidang kontak antara bola atau rol dengan cincin sangat kecil maka besarnya beban persatuan luas atau tekanannya menjadi sangat tinggi. Dengan demikian bahan yang dipakai harus mempunyai ketahanan dan kekerasan yang tinggi.